

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of:

SUNG Q LEE, ET AL.

Application No.:

Filed:

For: **NON-CONTACT SCANNING APPARATUS
USING FREQUENCY RESPONSE
SEPARATION SCHEME AND SCANNING
METHOD THEREOF**

Art Group:

Examiner:

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

REQUEST FOR PRIORITY

Sir:

Applicant respectfully requests a convention priority for the above-captioned application, namely:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>DATE OF FILING</u>
Republic of Korea	2002-70716	14 November 2002

☒ A certified copy of the document is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Blakely, Sokoloff, Taylor & Zafman LLP

Dated: 8/28/02

12400 Wilshire Blvd., 7th Floor
Los Angeles, California 90025
Telephone: (310) 207-3800


Eric S. Hyman, Reg. No. 30,139

대한민국특허청
KOREAN INTELLECTUAL
PROPERTY OFFICE

별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

출원번호 : 10-2002-0070716
Application Number

출원년월일 : 2002년 11월 14일
Date of Application NOV 14, 2002

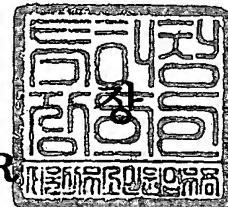
출원인 : 한국전자통신연구원
Applicant(s) Electronics and Telecommunications Research Institute



2003 년 04 월 04 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0001
【제출일자】	2002.11.14
【발명의 명칭】	주파수 응답 분리 방식을 이용한 비접촉식 측정 장치 및 그 측정 방법
【발명의 영문명칭】	Non-contact scanning apparatus using frequency response separation scheme and scanning method thereof
【출원인】	
【명칭】	한국전자통신연구원
【출원인코드】	3-1998-007763-8
【대리인】	
【명칭】	특허법인 신성
【대리인코드】	9-2000-100004-8
【지정된변리사】	변리사 정지원, 변리사 원석희, 변리사 박해천
【포괄위임등록번호】	2000-051975-8
【발명자】	
【성명의 국문표기】	이성규
【성명의 영문표기】	LEE, Sung Q
【주민등록번호】	710520-1773422
【우편번호】	305-340
【주소】	대전광역시 유성구 도룡동 380-22
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	송기봉
【성명의 영문표기】	SONG, Ki Bong
【주민등록번호】	650625-1683124
【우편번호】	302-740
【주소】	대전광역시 서구 만년동 초원아파트 101-1013
【국적】	KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 박강호
【성명의 영문표기】 PARK,Kang Ho
【주민등록번호】 650320-1069217
【우편번호】 305-503
【주소】 대전광역시 유성구 송강동 한솔아파트 201-1402
【국적】 KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 김준호
【성명의 영문표기】 KIM,Jun Ho
【주민등록번호】 690210-1829517
【우편번호】 660-110
【주소】 경상남도 진주시 평거동 161-2
【국적】 KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 김은경
【성명의 영문표기】 KIM,Eun Kyoung
【주민등록번호】 670707-2056116
【우편번호】 305-720
【주소】 대전광역시 유성구 신성동 대림두레아파트 105-703
【국적】 KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 박기환
【성명의 영문표기】 PARK,Kyi Hwan
【주민등록번호】 610114-1550319
【우편번호】 506-302
【주소】 광주광역시 광산구 월계동 벽산아파트 101-904
【국적】 KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 염우섭
【성명의 영문표기】 YOUM,Woo Sub
【주민등록번호】 771211-1673626

【우편번호】	302-200
【주소】	대전광역시 서구 괴정동 11-15
【국적】	KR
【공개형태】	간행물 발표
【공개일자】	2002.10.18
【공개형태】	간행물 발표
【공개일자】	2002.10.20
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 특허법인 신성 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	13 면 13,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	9 항 397,000 원
【합계】	439,000 원
【감면사유】	정부출연연구기관
【감면후 수수료】	219,500 원
【기술이전】	
【기술양도】	희망
【실시권 허여】	희망
【기술지도】	희망
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통 2. 공지에외적용대상(신규성상 실의예외, 출원시의특례)규정을 적용받기 위한 증명서류_2 통

【요약서】**【요약】**

본 발명은 표면 형상 측정을 위한 Z 방향 구동기를 사용함에 있어서, 하나의 구동기로 표면 높이를 추종하는 역할과 켄티레버를 그 고유진동수로 가진하는 역할을 동시에 할 수 있는 비접촉식 측정 장치 및 주파수 응답 분리법을 이용한 비접촉식 표면 측정 방법을 제공하기 위한 것으로, 이를 위해 본 발명은, X축 및 Y축 방향으로 이동하는 샘플과 일정 거리를 유지하면서 상기 샘플의 표면 형상을 자신의 공진 주파수의 진폭의 변화를 통해 센싱하는 센싱부; 상기 센싱부를 통해 센싱된 신호를 주파수 형태의 제1신호로 변환하여 출력하는 주파수 변환부; 상기 제1신호와 주파수 발생부로부터 출력되는 제2신호를 합성하는 주파수 합성부-상기 제2신호는 상기 공진 주파수와 동일하며 상기 제1신호에 비해 고주파임; 및 상기 합성된 신호 중 상기 제2신호에 비해 상대적으로 저주파인 상기 제1신호에 응답하여 상기 센싱부를 Z축 방향으로 구동시키며, 상기 센싱부가 상기 제1신호에 비해 상대적으로 고주파인 상기 제2신호에서만 선택적으로 동작하도록 상기 합성된 신호를 상기 센싱부에 제공하는 구동부를 포함하는 비접촉식 측정 장치를 제공한다.

또한, 본 발명은 주파수 응답 분리법을 이용한 비접촉식 표면 측정 방법을 제공한다.

【대표도】

도 1

【색인어】

주파수 응답 분리법, 자체센싱 켄틸레버(Self-Sensing Cantilever), 비접촉식(Non-contact mode), AFM(Atomic Force Microscope), 표면 형상 측정, NSOM(Near Field Scanning Optical Microscopy), 알파스텝, 정보저장.

【명세서】**【발명의 명칭】**

주파수 응답 분리 방식을 이용한 비접촉식 측정 장치 및 그 측정 방법{Non-contact scanning apparatus using frequency response separation scheme and scanning method thereof}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 자체센싱 캔티레버와 구동기가 결합된 전자현미경을 도시한 개략도.

도 2는 본 실시예에서 하나의 구동부에 가해지는 두 주파수 영역의 입력신호가 합해지는 방법을 도시한 개념도.

도 3은 합산 앰프를 통해서 합해진 전압신호가 구동기와 센서로 구성되어 있는 시스템에서 어떻게 분리되는가를 설명하기 위해서 구동기와 센서로 구성되어 있는 시스템을 수학적으로 모델링한 블록도.

도 4는 구동기와 센서의 주파수 응답현상에 대한 수학적인 해석 결과를 도시한 그래프.

도 5는 구동부의 주파수 응답현상에 대한 실험 결과를 도시한 그래프.

도 6은 센싱부의 주파수 응답현상에 대한 실험 결과를 도시한 그래프.

도 7은 샘플의 표면과 팁 사이의 간격에 의한 캔티레버 진폭 변화 및 표면 측정을 위한 간격 설정을 도시한 그래프.

도 8은 비접촉식으로 10 μ m 표준 격자의 표면 형상을 측정한 결과를 도시한 그래프.

도 9는 본 발명의 주파수 응답 분리법을 적용할 수 있는 여러 가지 조합들을 도시한 블록도.

도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 주파수 응답 분리 동작을 이용한 비접촉식 표면 측정 방법을 도식화한 플로우 차트.

* 도면의 주요 부분에 대한 설명

10 : 베이스부 11 : X-Y 스캐너

12 : 샘플 13 : 센싱부

14 : 팁 15 : 켄터레버

16 : 구동부 17 : 고정부재

18 : 주파수 변환부(락인 앰프)

19 : 주파수 발생부(평선 제너레이터)

20 : 주파수 합성부

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<19> 본 발명은 비접촉식 표면 측정 장치에 관한 것으로 특히, 주파수 응답 분리

법을 통해 비접촉식으로 표면 형상을 AFM(Atomic Force Microscope) 및 유사한 현미경에서 하나의 구동기를 이용하여 표면의 형상을 추종하는 역할과 구동기에 달려 있는 센서를 진동시키는(가진하는) 역할을 동시에 수행할 수 있는 표면 측정 장치에 관한 것이다.

<20> 나노 미터 수준의 표면 형상 및 특성을 측정하기 위한 SPM(Scanning Probe Microscopy)

은 크게 팁을 표면에 접촉하는 접촉식과 접촉하지 않는 비접촉식의 두 가지가 있다.

<21> 비접촉식에 있어서, 켄티레버(Cantilever) 팁(Tip)을 그 고유진동수로 진동시켜야 하는데, 이러한 진동을 위한 구동기로는 가진 주파수 영역이 넓은 압전성 물질(Piezoelectric material)을 사용하여 전압을 가하여 샘플을 X,Y,Z축 방향으로 이동시켜 스캔이 되도록 하는 PZT 스캐너를 사용하는 경우가 대부분이다.

<22> 특히, 광학적인 방법으로 팁을 정렬하는 경우 진동을 위한 구동기와 샘플의 높이 방향으로의 스캔(구동)을 위한 구동기가 별도로 구비 되어야 했다. 팁과 샘플사이의 거리를 비접촉 방식으로 측정하기 위한 방법으로 광학적인 방법을 사용하지 않는 경우, 광섬유(Optical fiber)나 탄소 나노 튜브(Carbon nano tube)를 튜닝포크에 부착하여 튜닝포크에서의 진동폭을 측정하는 방법이 있다. 혹은 켄티레버 자체에 센서를 도핑 하거나 공정으로 제작하여 켄티레버를 접촉식으로 사용하거나 혹은 자체적으로 구동하여 공진시키는 방법이 제시되었다.

<23> 이하, 전술한 바와 같은 각 종래기술에 대해 살펴본다.

<24> <제1종래기술>

<25> 레이저다이오드(Laserdiode; 이하 LD라 함)와 포토다이오드(Photodiode; 이하 PD라 함)를 이용해서 켄티레버의 끝단에서의 변위량을 측정하는 방법으로 SPM 분야에서는 가장

널리 알려져 있는 방법이다. 이 경우 LD와 PD의 정렬을 위한 수고가 수반되나 잘 개발된 기술들을 바탕으로 비교적 용이하게 정렬을 할 수 있다.

<26> 그러나, 캔티레버를 고정한 부분에서 큰 변위를 가진다면 광학적인 정렬이 틀어지므로 고정한 부분에서의 가진되는량은 아주 작아지게 된다. 이로 인해 진동을 위한 구동기와 팁과 표면 사이의 간격 조절용 구동기가 하나의 형태로 조합할 수 없으며, 캔티레버를 고유진동수로 진동시키기 위한 구동기와 표면 높이 방향으로의 구동을 위한 구동기(Z방향의 Tube scanner)가 별도로 구비되어야 한다. 한편, 포토다이오드에서 나오는 신호를 락인 앰프(Lock'in Amplifier)를 통해서 신호처리 해주어야 하는 것은 어느 경우나 동일하다["Method of controlling probe microscope", US Patent 5,955,660, Seiko Instrument 참조].

<27> <제2종래기술>

<28> 비접촉식으로 팁과 표면 사이의 간격을 측정 하기 위한 방법으로, 튜닝포크를 사용하는 방법이 있다. 튜닝포크에 NSOM(Near field Scanning Optical Microscope)용 광섬유를 부착하거나, AFM용 탄소 나노 튜브를 부착하는 방법이 있다. 이 두 가지 방법 모두 튜닝포크가 팁/표면 간격이 변화함에 따라 그 진동 폭의 변화가 발생하는 것을 전기적이거나 광학적으로 신호를 통해서 측정한다. 이 경우 튜닝포크에 광섬유나 탄소 나노 튜브를 부착하는 방법이 상당히 까다롭고 그 부착하는 순간순간에 따라 민감도가 변화하는 단점이 있다.

<29> 또한, 이 경우도 팁/표면 사이의 간격을 측정하는 것으로 사용되므로 표면 형상에 따른 Z방향 구동역할을 하는 구동기는 별도로 필요로 하게 된다. 이러한 것은 주로 XYZ Scanner에서 감당하게 된다[

"Non-contact atomic force microscopy in liquid environment with quartz tuning fork and carbon nanotube probe", Masami Kageshima and et al, Applied Surface Science, 7695(2002), pp1-5 참조], ["Scanning-probe microscope including non-optical means for detecting normal tip-sample interaction", US patent 6,094,971, Texas instrument 참조].

<30> <제3종래기술>

<31> SPM의 광학적인 정렬의 어려움을 해소하기 위한 방법으로 압전저항(Piezo-resistive) 재료를 켄티레버에 도핑 혹은 공정으로 처리하여 센서가 달린 켄티레버를 사용하는 것으로 널리 사용되고 있다. 이러한 경우 센서가 있는 켄티레버를 표면 형상에 따른 Z방향 구동 역할을 하는 구동기에 부착하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 이제까지 이러한 센서가 있는 켄티레버를 비접촉식으로 사용하는 경우 전술한<제1종래기술>과 같이 켄티레버를 고유진동수로 공진시키는 구동기와 표면 형상을 따라 Z방향으로 구동하는 구동기를 분리해서 사용하고 있다. 혹은 광학적인 정렬의 어려움을 피할 수 있는 환경에서의 접촉식 표면 형상 혹은 특성 측정을 위해서 사용되고 있다. 아직은 광학적인 방법 보다는 민감도가 떨어지므로, 표면형상의 분해능이 좀 낮은 상황이다. 그러나, 비접촉식 방법을 사용하는 경우 락인 앰프를 사용하므로 민감도 면에선 큰 차이가 없다["Atomic force microscopy probe with piezoresistive read-out and a highly symmetrical Wheatstone bridge arrangement", J. Thaysen and et al, Sensor and Actuators 83(2000), pp47-53 참조].

<32> <제4종래기술>

<33> 센서가 있는 켈티레버에서 한층 더 나아가 켈티레버에 센서와 구동기를 공정순서에서 일괄적으로 만든 켈티레버가 있다. 이 경우 켈티레버의 고유진동수를 켈티레버의 형상에 따라 설계를 하기 때문에 여러 가지 용이한 점이 있으며, 센서/구동기 켈티레버를 이용하는 경우 자체적으로 구동하면서 센싱도 하므로 좋은 방법이다.

<34> 하지만, 이 경우 켈티레버를 제작함에 있어서, 고유진동수를 높게 하기 위한 설계 방향과 켈티레버의 구동 범위를 크게 하는 방향 사이에는 트레이드 오프(Trade off)가 발생하게 된다. 일반적으로 지금까지 사용하는 켈티레버의 구동범위는 약 $1\mu\text{m}$ 수준에 해당한다. 이 정도 수준으로 측정할 수 있는 표면 형상도 있을 수 있겠으나, 일반적인 샘플의 표면은 샘플이 놓인 상황에 따라 그 기울어진 정도를 고려한다면 $10\mu\text{m}$ 정도의 구동 범위를 가져야만 한다.

<35> 따라서, 이 기술 또한 실제 응용에 있어선 별도의 표면 형상을 Z방향으로 구동하는 구동기가 필요하게 될 것이다. 물론 자체적으로 구동 시킬 수 있는 구동기가 있으므로 켈티레버를 고유진동수로 구동하는 구동기를 대신할 수 있다["Micro-fabricated piezoelectric cantilever for atomic force microscop", Shunji Watanabe and Toru Fujii, Rev, Sci. Instrum. 67(11), 1996, pp3898-3903 참조].

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<36> 본 발명은 상기와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로써, 별도의 표면 형상을 Z방향으로 구동하는 구동기를 사용하지 않고, 하나의 구동기로 표면 높이를 추종하는 역할과 켈티레버를 그 고유진동수로 가진하는 역할을 동시에 할 수 있는 비접촉식 측정 장치를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

<37> 또한, 주파수 응답 분리법을 이용한 비접촉식 표면 측정 방법을 제공하는 것을 다른 목적으로 한다.

【발명의 구성 및 작용】

<38> 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은, X축 및 Y축 방향으로 이동하는 샘플과 일정 거리를 유지하면서 상기 샘플의 표면 형상을 자신의 공진 주파수의 진폭의 변화를 통해 센싱하는 센싱부; 상기 센싱부를 통해 센싱된 신호를 주파수 형태의 제1신호로 변환하여 출력하는 주파수 변환부; 상기 제1신호와 주파수 발생부로부터 출력되는 제2신호를 합성하는 주파수 합성부-상기 제2신호는 상기 공진 주파수와 동일하며 상기 제1신호에 비해 고주파임; 및 상기 합성된 신호 중 상기 제2신호에 비해 상대적으로 저주파인 상기 제1신호에 응답하여 상기 센싱부를 Z축 방향으로 구동시키며, 상기 센싱부가 상기 제1신호에 비해 상대적으로 고주파인 상기 제2신호에서만 선택적으로 동작하도록 상기 합성된 신호를 상기 센싱부에 제공하는 구동부를 포함하는 비접촉식 측정 장치를 제공한다.

<39> 또한, 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은, X축 및 Y축 방향으로 이동하는 샘플과 일정 거리를 유지하면서 상기 샘플의 표면 형상을 센싱수단의 공진 주파수의 진폭 변화를 통해 센싱하는 단계; 상기 센싱된 신호를 주파수 형태의 제1신호로 변환하는 단계; 상기 제1신호와 주파수 발생수단으로부터 출력되는 제2신호를 합성하는 단계-상기 제2신호는 상기 공진 주파수와 동일하며 상기 제1신호에 비해 고주파임; 상기 합성된 신호를 구동수단으로 피드백시키는 단계; 및 전달된 상기 합성된 신호 중 상기 제2신호에 비해 상대적으로 저주파인 상기 제1신호에 응답하여 Z축 방향으로 상기 구동수단을 구동시키고, 상기 제1신호에 비해 상대적으로 고주파인 상기 제2신호에서만 선택적으로 상기 센

상수단을 동작시키는 주파수 응답 분리 동작을 실시하는 단계를 포함하는 주파수 응답 분리를 이용한 비접촉식 측정 방법을 제공한다.

- <40> 본 발명은 비접촉식으로 표면 형상을 측정하는 AFM 및 유사한 현미경에서 하나의 구동부를 이용하여 표면의 형상을 추종하는 역할과 구동기에 달려있는 센싱부를 가진하는 역할을 동시에 할 수 있는 측정 장치와 그 측정 방법에 관한 것이다.
- <41> 본 발명의 측정 장치는 수십 μ m의 행정범위를 갖는 구동부와 자체센싱 켄티레버로 구성된다. 탐침과 샘플 사이의 간극 측정은 구동부를 자체센싱 켄티레버의 고유진동수로 진동(가진)시키고 그 진동된 자체센싱 켄티레버의 진동폭의 변화를 측정하여 가능해지며, 이렇게 측정된 간극이 일정하도록 피드백(Feedback) 회로를 통하여 제어함에 있어서, 샘플 표면의 굴곡에 따른 간극의 차이가 발생할 때 이 간극을 일정하게 하기 위해 자체 센싱 켄타레버를 가진하는 동일한 구동기를 사용하여 측정 장치의 구조를 단순화한다.
- <42> 이하, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 정도로 상세히 설명하기 위하여, 본 발명의 가장 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 설명하기로 한다.
- <43> 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 자체센싱 켄티레버와 구동기가 결합된 전자현미경을 도시한 개략도로서, 주파수응답 분리법을 이용한 비접촉식 AFM 구조의 개념을 나타낸다.

- <44> 도 1을 참조하면, 베이스부(10) 상에 X-Y 방향으로 이동하며 스캐닝이 가능하도록 하는 X-Y 스캐너(11)가 배치되어 있고, X-Y 스캐너(11) 상에 그 표면의 형상을 측정하기 위한 대상인 샘플(12)이 위치하고 있다.
- <45> 샘플(12) 상부에는 자체센싱이 가능한 켄티레버(15)가 센싱부(13)를 그 자신에 구비하고, 샘플(12) 표면을 센싱하기 위해 그 타단에 팁(14)을 갖도록 배치되어 있다. 켄티레버(15) 일단은 켄티레버(15)를 Z방향으로 구동시키기 위한 구동부(16)를 통해 지지되어 있으며, 구동부(16)는 고정부재(17)를 통해 지지된다.
- <46> 팁(14)과 샘플(12)과의 간격의 변화에 따른 가진 주파수(f_R 즉, 켄티레버(15)의 공진 주파수)의 진폭의 크기가 센싱부(13)를 통해 센싱되는 바, 주파수 변환부 예컨대, 락인 앰프(18, 이하 락인 앰프라 함)는 이렇게 센싱된 신호를 통해 실제 샘플(12)과 팁(14) 간의 거리를 계산하여, 측정된 실제 샘플(12)과 팁(14) 간의 거리에 대응하는 저주파 신호(f_L)를 출력한다.
- <47> 주파수 발생부 예컨대, 평선 제너레이터(Function Generator, 19, 이하 평선 제너레이터라 함)는 켄티레버(15)를 가진하기 위한 가진 주파수(f_R ; 여기서 $f_R \gg f_L$ 예컨대, $f_L=1\text{kHz}$, $f_R=37\text{kHz}$) 출력하며, 주파수 합성부(20)는 이러한 가진 주파수(f_R)와 구동부(16)의 Z 방향 구동을 위한 저주파 신호(f_L)를 합성한 후 이렇게 합성된 신호를 통해 구동부(16)를 구동시킨다.
- <48> 이하, 구체적으로 살펴 본다.
- <49> 평선 제너레이터(19)에서 발생하는 켄티레버(15) 가진용 신호와 샘플(500)의 굴곡에 의한 저주파 신호(f_L)를 합성하는 주파수 합성부(20)에서 출력되는 신호(f_L+f_R)는 하

나의 구동부(16)에 가해진다. 가해지는 신호($f_L + f_R$)는 전압신호로 구동기를 구동시키게 되고, 이 구동력은 켄티레버(15)의 Z방향 움직임과 동시에 고유진동수로의 공진도 동시에 일으키게 된다.

<50> 공진된 신호의 크기 즉, 진폭은 켄티레버(15)의 팁(14)과 샘플(12)의 표면사이의 간격에 의해 변화하게 된다. 따라서, 이러한 진폭의 변화는 켄티레버(15)에 부착된 센싱부(13)를 통해 측정되며, 이는 다시 락인 앰프(18)를 통해 실제 측정된 샘플(12)의 굴곡으로 계산하게 된다.

<51> 이렇듯 측정된 신호를 락인 앰프(18)를 통해 샘플의 굴곡을 측정하게 되며, 이는 다시 구동부(16)를 제어하기 위한 신호 즉, 저주파 신호(f_L)로 사용되며 주파수 합성부(20)를 거치는 피드백 루프를 돌게 된다.

<52> 도 2는 본 실시예에서 하나의 구동부에 가해지는 두 주파수 영역의 입력신호가 합해지는 방법을 도시한 개념도로서, 켄티레버의 고유진동수에 해당하는 주파수의 전압신호와 표면의 굴곡에 해당하는 전압신호를 전압 합산 앰프에서 합하는 것을 설명한다.

<53> 도 2를 참조하면, 합해진 전압신호의 가장 큰 값과 가장 작은 값은 앰프가 지원하는 최고전압을 넘진 못한다. 공진시키는 주파수(f_R)에서의 전압은 아주 작더라도 켄티레버(15)를 공진시키는 데는 충분하므로 신호의 모양은 샘플(12) 표면의 굴곡에 의한 모양과 거의 차이가 없게 된다.

<54> 도 3은 주파수 합성부를 통해서 합해진 전압신호가 구동부와 센싱부로 구성되어 있는 시스템에서 어떻게 분리되는가를 설명하기 위해서 구동부와 센싱부로 구성되어 있는

시스템을 수학적으로 모델링 한 블럭도로서, 구동부와 센싱부를 포함하는 시스템의 주파수 응답차에 의한 주파수 분리효과를 나타낸다.

<55> 도 3을 참조하면, 구동부(16)와 센싱부(13)는 각각 질량(M, m), 스프링(k_v, k_c) 및 감쇠기(b_v, b_c)를 포함하는 구조로 세분화하여 모델링할 수 있다.

<56> 또한, 구동부(16)와 센싱부(13)는 각각 질량과 스프링 및 감쇠기에 해당하는 상부로 다른 값을 가지고 있어 각각이 민감하게 반응하는 주파수 대역이 큰 차이가 있는 것으로 설명되어 질 수 있다.

<57> 켄티레버(15)의 공진 주파수(f_R)가 구동부(16)의 공진 주파수 대역에 비해 상대적으로 매우 크기 때문에 구동부(16)는 자체적으로 저역통과필터(Low-pass filter)역할에 의해서 높은 주파수 대역의 전압신호에 의한 구동부(16)의 움직임은 매우 작고, 낮은 주파수 대역의 전압신호에 대해선 그 응답이 1:1로 나타나므로 자연스러운 주파수 응답 분리법에 의한 신호분리가 이루어진다고 볼 수 있다.

<58> 이렇게 분리된 신호 중에서 높은 주파수 대역으로 가진되는 구동부(16)는 비록 그 응답이 매우 작긴 하지만 켄티레버(15)가 매우 작고 공진점에서 가해지는 가진력이 매우 작더라도 큰 응답을 보이므로 센서로서의 역할을 하는 데는 전혀 지장이 없게 된다.

<59> 하기의 수학식1과 수학식2는 각각 상기 도 3의 블럭도를 수학식으로 표현한 동력학식이다.

<60> 【수학식 1】 $Mx_v'' + b_v x_v' + k_v x_v + b_v(x_v' - x_c') + k_c(x_v - x_c) = F$

<61> 【수학식 2】 $m x_c'' + b_c(x_c' - x_v') + k_c(x_c - x_v) = 0$

<62> 여기서, M 은 구동부(16)의 질량, m 은 센싱부(13)의 질량, x_v 는 구동부(16)의 변위, x_v' 은 x_v 를 시간에 대해 미분한 것으로 구동부(16)의 속도, x_v'' 는 x_v 를 시간에 대하여 두 번 미분한 것으로 구동부(16)의 가속도, x_c 는 센싱부(13)의 변위, x_c' 은 x_c 를 시간에 대해 미분한 것으로 센싱부(16)의 속도, x_c'' 는 x_c 를 시간에 대하여 두 번 미분한 것으로 센싱부(16)의 가속도, k_v 는 구동부(16)의 스프링 상수, k_c 는 센싱부(13)의 스프링 상수, b_v 는 구동부(16)의 감쇠 상수, b_c 는 센싱부(13)의 감쇠 상수를 나타내며 F 는 힘 즉, 구동부(16)를 움직이게 하는 구동력을 나타낸다.

<63> 따라서, 수학식1은 구동력(F)에 의해 발생하는 구동부(16)의 세부적인 힘을 나타낸다. 따라서, 좌항의 각 힘의 합은 우항의 구동력(F)과 동일하게 된다.

<64> 이하, 각 힘에 대해 구체적으로 살펴 본다.

<65> Mx_v'' 는 구동부(16)의 질량 M 과 구동력(F)에 의한 실질적인 구동부(16)의 가속도 x_v'' 를 곱한 값으로, 물리적으로는 구동력(F)에 의해 구동부(16)가 소정의 가속도로 운동을 한다는 것을 의미한다. $b_v x_v'$ 는 구동부(16)의 감쇠 상수 b_v 와 구동부(16)의 속도 x_v' 를 곱한 값이고, $k_v x_v$ 는 구동부(16)의 스프링 상수 k_v 와 구동부(16)의 변위 x_v 를 곱한 값이다.

<66> 또한, $b_v(x_v' - x_c')$ 와 $k_c(x_v - x_c)$ 는 각각 구동부(16)의 변위 x_v 에 대한 켄티레버 (15)의 변위 x_c 에 대한 상대적인 변위를 고려한 감쇠 및 탄성 특성에 대한 힘을 나타낸다.

<67> 수학식2는 구동부(16)가 수학식1의 동작을 할 때, 켄티레버(15)의 동작을 나타낸다.

<68> 이 때, 우변 항의 값이 "0"이 되는 이유는 켄티레버(15) 자체에는 외부의 힘이 가해지지 않았기 때문이며, mx_c "는 켄티레버(16)의 질량 m 과 실질적인 켄티레버(15)의 가속도 x_c "를 곱한 값으로, 물리적으로는 "0"인 구동력에 의해 켄티레버(15)가 소정의 가속도로 운동을 한다는 것을 의미한다.

<69> 또한, $b_c(x_c' - x_v')$ 와 $k_c(x_c - x_v)$ 는 각각 켄티레버(15)의 변위 x_c 에 대한 구동부(16)의 변위 x_v 에 대한 상대적인 변위를 고려한 감쇄 및 탄성 특성에 대한 힘을 나타낸다.

<70> 전술한 수학식1과 수학식2를 라플라스 변환(Laplace transform)을 통해 구동력에 따른 변위의 비로 표현한 것이 하기의 수학식3 ~ 수학식5이다.

<71>
$$\frac{x_v(s)}{F(s)} = \frac{ms^2 + b_c s + k_c}{mMs^2 + (Mb_c + m(b_c + b_v))s^3 + (Mk_c + b_v b_c + m(k_c + k_v))s^2 + (b_v + k_c)s + k_c k_v}$$

【수학식 3】

<72>
$$\frac{x_c(s)}{F(s)} = \frac{b_c s + k_c}{mMs^2 + (Mb_c + m(b_c + b_v))s^3 + (Mk_c + b_v b_c + m(k_c + k_v))s^2 + (b_v + k_c)s + k_c k_v}$$

【수학식 4】

<73>
$$\frac{x_v(s) - x_c(s)}{x_v(s)} = \frac{ms^2}{ms^2 + b_c(s) + k_c}$$

【수학식 5】

- <74> 수학식3은 구동력(F)에 대한 구동부(16)의 변위(x_v)를 나타내며, 수학식4는 구동력(F)에 대한 켄티레버(15)의 변위를 나타내며, 수학식5는 구동부(16)의 변위 x_v 에 대한 켄티레버(15)의 상대 변위($x_c - x_v$)를 나타낸다.
- <75> 도 4는 구동부와 자체센싱 켄티레버(15)의 주파수 응답 현상에 대한 수학적 해석 결과를 도시한 그래프로서, 상기 도 3에서 수학적 모델링을 한 것을 수학식3 ~ 수학식5을 통해서 그 응답차이가 어떻게 나타나는지를 설명해 주고 있다.
- <76> 도 4를 참조하면, 구동부(16)에 가해지는 전압은 구동력(F)을 발생시키고, 그 발생된 힘에 의해서 구동부(16)도 변위를 얻게 되고 켄티레버(15)도 움직이게 된다.
- <77> 도 4의(a)에서 확인할 수 있듯이 구동부(16)의 변위는 켄티레버(15)가 공진되는 주파수(f_R) 즉, 고주파에서 그 응답이 매우 작게 나타나며, 도시된 'A'와 같이 10^2Hz 의 저주파 신호인 f_L 에 의한 변위의 변화 크기가 가장 큼을 확인할 수 있다.
- <78> 이에 비해 도 4의 (b)에서 확인할 수 있듯이 켄티레버(15)의 변위는 구동부(16)에 비해 10^5Hz 의 고주파에서도 변위의 피크치를 나타냄을 알 수 있다. 여기서, 도면부호 'B'와 'C'는 두 개의 공진 주파수가 를 나타낸다.
- <79> 결과적으로, 도 4의 (c)에서 'D'와 같이 구동부(16)의 변위 x_v 에 대한 켄티레버(15)의 상대적인 변위가 10^5Hz 의 고주파 영역에서 가장 크게 나타남을 확인할 수 있으며, 실제 동작시 센싱부(13)는 상대적인 변위가 발생해야만 센싱을 하므로 도 4의 (c)와 같은 상대적 변위만을 센싱하게 된다.

- <80> 따라서, 본 실시예에서는 구동부(16)와는 달리 센싱부(13)의 반응은 그 공진점에서만 가장 크므로 이런 특징을 이용하여 센싱부(13)의 공진 주파수(f_R)에 해당하는 전압 신호를 샘플 표면 굴곡신호에 더해서 가해 주게 된다.
- <81> 도 5는 구동부의 주파수 응답현상에 대한 실험 결과를 도시한 그래프로서, 대표적인 구동부인 VCM(Voice Coil Motor)의 주파수 응답 결과를 도시한다.
- <82> 또한, 도 6은 센싱부의 주파수 응답현상에 대한 실험 결과를 도시한 그래프이다.
- <83> 도 5를 참조하면, 구동부(16)는 100Hz와 10Hz 사이에서 입력전압에 따른 속도(변위의 변화)의 비가 피크치를 가지며, 이는 도 4의 'A'와 같은 이론적인 그래프와 유사한 저주파 영역에서 프로파일(Profile frequency range(Hz))을 가짐을 입증하는 것이다. 반면, $10^3\text{Hz} \sim 10^5\text{Hz}$ 에서는 저주파에서 갖던 프로파일을 갖지 못함을 알 수 있다 (Oscillation frequency range).
- <84> 도 6을 참조하면, 이는 도 4의 (c)에 대응하는 것으로 켄틸레버(15) 구체적으로는 센싱부(13)의 고유 진동수(f_R)인 37.425Hz에서 입력에 대한 출력의 비가 가장 크게 나타남을 알 수 있다.
- <85> 전술한 도 5와 도 6의 실험결과에서 확인할 수 있듯이, VCM의 경우 저주파에서는 그 응답이 크지만 고주파, 특히 켄틸레버 고유진동수에 해당하는 주파수에서는 그 응답이 현격히 작음을 알 수 있다. 이것은 기계시스템이 저역통과필터로서의 기능이 있음을 증명해주는 실험 결과이다.
- <86> 물론, 이 구동부(16)가 고주파에서 여러 개의 모드가 있기 때문에 고주파에서의 몇 개의 공진점이 있긴 하지만, 근본적으로는 그 응답의 크기는 자연스럽게 작아지는 것을

알 수 있다. 반면에 켄티레버(15)의 경우 자신의 고유 진동수(f_R)에 해당하는 주파수에서 높은 민감도를 가지면서 작은 가진력에도 민감한 응답을 보여준다. 이 민감한 응답을 통하여 팁(14)과 샘플(12)의 표면 사이의 거리를 민감하게 측정할 수 있게 된다.

<87> 도 7은 샘플 표면과 팁 사이의 간격(μm)에 의한 켄티레버 진폭 변화 및 표면 측정을 위한 간격 설정을 도시한 그래프로서, 켄티레버를 고유 진동수로 가진하면서 팁 끝을 표면으로 가까이 하면서 얻은 켄틸레버의 진폭에 해당하는 센서의 전압 값(V)을 측정한 것이다.

<88> 도 7을 참조하면, 도면부호 'E'와 같이 팁(14)이 샘플(12)의 표면으로 가까이 가면 켄티레버(15)의 진폭이 줄어들게 되고, 이에 따라 센싱 전압 값 또한 줄어든다. 이렇게 줄어드는 전압 값은 샘플(12)의 표면과의 거리(간격)가 줄어들면서 급격히 변하고 이 급격히 변하는 곳의 전압 값을 기준으로 간격을 피드백 제어를 통해 조절하면 샘플(12) 표면과 팁(14) 사이의 간격을 일정하게 유지할 수 있다. 이렇게 팁(14)과 샘플(12) 표면 사이의 거리를 일정하게 유지하기 위해 센싱 전압을 일정한 레벨로 유지하도록 하는 바, 이러한 점을 제어점(Regulating point) 'P'라 한다.

<89> 도 8은 비접촉식으로 $10\mu\text{m}$ 표준 격자의 표면 형상을 측정한 결과를 도시한 그래프로서, 상기 도 1의 측정 장치에서 도 7의 피드백 제어를 하는 가운데 간격 $10\mu\text{m}$ 격자의 표준 샘플을 X-Y 스캐너(11) 위에 얹고 가로 세로 각각 $50\mu\text{m}$ 를 측정한 결과와 가로 세로 각각 $15\mu\text{m}$ 를 측정한 결과이다.

<90> 도 8을 참조하면, 표준 샘플의 형상이 잘 나타나 보임을 알 수 있으며, 이를 통해 본 주파수 응답 분리법이 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

- <91> 도 9는 본 발명의 주파수 응답 분리법을 적용하여 실시할 수 있는 조합들의 다른 실시예를 도시한 블록도이다.
- <92> 도 9를 참조하면, 구동부로는 전술한 실시예에서 살펴 본 행정거리가 긴 압전 액츄에이터(Piezo actuator, 91)와 바이모프 액츄에이터(Bimorph actuator, 92) 및 VCM(93) 등이 있다.
- <93> 압전 액츄에이터(91)는, 고정부재(910)와 고정부재(910)에 일단이 접속되어 Z 방향으로 구동되는 액츄에이터(911)로 구성되어 도 1의 실시예에서 전술한 바와 같은 동작을 한다.
- <94> 바이모프 액츄에이터(92)는, 고정부재(920)와 서로 다른 전기적 또는 열적 특성을 갖는 두 금속(921, 922)가 접착된 형태의 액츄에이터의 일단이 고정부재(920)에 접속되어 Z 방향으로 구동된다.
- <95> VCM(93)은, 베이스부(933)와 그 상부의 지지부재(930)와 연결부재(932) 및 액츄에이터(931)로 구성되어 Z 방향으로 구동된다.
- <96> 전술한 압전 액츄에이터(91)와 바이모프 액츄에이터(92) 및 VCM(93)의 공통적인 특징은 행정거리가 표면의 높낮이를 초과하는 행정거리를 가진다는 것이다. 이로 인해 이들은 비록 높은 주파수에서 그 응답 변위량이 적다 하더라도 구동부로서의 적용이 가능하다.
- <97> 한편, 캔틸레버로는 자체에 센싱부(941, 951)를 장착한 것으로 탐침 팁(942)만 있는 경우(94)와 구멍이 뚫린 팁(952)이 있는 경우가 있다. 탐침만 있는 팁(942)의 경우는 AFM 형상 측정이 가능하며, 구멍이 있는 팁의 경우 NSOM이 가능하다.

- <98> 도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 주파수 응답 분리 동작을 이용한 비접촉식 표면 측정 방법을 도식화한 플로우 차트이다.
- <99> 도 10을 참조하면, X축 및 Y축 방향으로 이동하는 샘플과 일정 거리를 유지하면서 샘플의 표면 형상을 센싱부의 공진 주파수의 진폭 변화를 통해 센싱한다(100).
- <100> 이어서, 센싱된 신호를 주파수 형태의 제1신호로 변환하는(101) 바, 여기서 제1신호는 샘플의 표면 형상이 팁과 샘플 표면과의 간격의 변화에 의한 제2신호의 진폭 변화로 센싱된 것을 저주파 형태로 변환된 아날로그 신호이다.
- <101> 상기 제1신호와 주파수 발생부 예컨대, 평선 제너레이터로부터 출력되는 제2신호를 합성한다(102). 여기서, 제2신호는 공진 주파수와 동일하며 제1신호에 비해 고주파이다.
- <102> 계속해서, 합성된 신호를 구동부로 피드백 루프를 통해 전달하면(103), 전달된 합성된 신호 중 상기 제2신호에 비해 상대적으로 저주파인 제1신호에 응답하여 Z축 방향으로 구동부를 구동시키고(104), 제1신호에 비해 상대적으로 고주파인 제2신호에서만 선택적으로 센싱부를 동작시키는 주파수 응답 분리 동작(105)이 이루어진다.
- <103> 상술한 바와 같이 이루어지는 본 발명은, 기존의 AFM, NSOM에 적용하여 사용할 수 있는 주파수 응답 분리법을 이용하여 하나의 구동부로 샘플 표면 높이를 추종하는 역할과 캔틸레버를 그 고유 진동수로 가진하는 역할을 동시에 할 수 있도록 한다. 따라서, 기존의 AFM과 NSOM 등의 장치 구조를 간단히 할 수 있으며, 구동부의 수가 감소할 뿐만

아니라 이에 따른 구조의 단순화와 구동부 증폭기의 단순화로 말미암아 가격면에서나 구조면에서 좋은 장점이 있음을 실시예를 통해 알아 보았다.

<104> 본 발명의 기술 사상은 상기 바람직한 실시예에 따라 구체적으로 기술되었으나, 상기한 실시예는 그 설명을 위한 것이며 그 제한을 위한 것이 아님을 주의하여야 한다. 또한, 본 발명의 기술 분야의 통상의 전문가라면 본 발명의 기술 사상의 범위 내에서 다양한 실시예가 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

<105> 예컨대, 전술한 바와 같은 간단한 구조로 말미암아 원자현미경 등의 표면 측정 장치 뿐만아니라, 광학과 형상 정보까지 측정하는 NSOM, 표면의 단차를 측정하는 알파스텝, 탐침형 고밀도 광 정보저장 장치에서 광 정보의 기록 및 재생에 필요한 근접장 헤드와 샘플 사이의 간극조절장치 등 다양하게 응용 가능하다.

【발명의 효과】

<106> 상기와 같이 이루어지는 본 발명은, 하나의 구동기로 표면 높이를 추종하는 역할과 캔틸레버를 그 고유진동수로 가진하는 역할을 동시에 할 수 있어, 구동부의 수를 감소시킬 수 있을 뿐만아니라 이에 따른 구조의 단순화를 기할 수 있어, 가격대 성능비를 향상시킬 수 있는 탁월한 효과를 기대할 수 있다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

X축 및 Y축 방향으로 이동하는 샘플과 일정 거리를 유지하면서 상기 샘플의 표면 형상을 자신의 공진 주파수의 진폭의 변화를 통해 센싱하는 센싱수단;

상기 센싱수단을 통해 센싱된 신호를 주파수 형태의 제1신호로 변환하여 출력하는 주파수 변환수단;

상기 제1신호와 주파수 발생수단으로부터 출력되는 제2신호를 합성하는 주파수 합성수단-상기 제2신호는 상기 공진 주파수와 동일하며 상기 제1신호에 비해 고주파임; 및

상기 합성된 신호 중 상기 제2신호에 비해 상대적으로 저주파인 상기 제1신호에 응답하여 상기 센싱수단을 Z축 방향으로 구동시키며, 상기 센싱수단이 상기 제1신호에 비해 상대적으로 고주파인 상기 제2신호에서만 선택적으로 동작하도록 상기 합성된 신호를 상기 센싱수단에 제공하는 구동수단

을 포함하는 비접촉식 측정 장치.

【청구항 2】

제 1 항에 있어서,

상기 센싱수단은,

상기 제1신호에 응답한 상기 구동수단의 Z축 방향의 이동으로 인해 자신과 상기 샘플과의 간격을 유지하면서, 상기 샘플과의 간격의 변위에 해당하는 자신의 상기 공진 주파수의 진폭의 크기 변화를 센싱하는 것을 특징으로 하는 비접촉식 측정 장치.

【청구항 3】

제 1 항에 있어서,

상기 구동수단은 상기 제1신호에 응답한 동작을 통해 실질적으로 저역통과 필터의 역할을 수행하는 것을 특징으로 하는 비접촉식 측정 장치.

【청구항 4】

제 1 항에 있어서,

상기 센싱수단은,

그 일단이 상기 구동수단에 접속된 캔틸레버;

상기 캔틸레버의 타단에 접속되어 상기 샘플의 표면을 추종하는 팁; 및

상기 캔틸레버의 소정 영역에 부착되어 상기 팁을 통해 상기 샘플의 표면 형상을 센싱하는 센싱부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 비접촉식 측정 장치.

【청구항 5】

제 4 항에 있어서,

상기 팁은 탐침 형상으로 AFM(Atomic Force Microscope) 용도로 사용되는 것을 특징으로 하는 비접촉식 측정 장치.

【청구항 6】

제 4 항에 있어서,

상기 팁은 구멍이 있는 형상으로 NSOM(Near field Scanning Optical Microscope) 용도로 사용되는 것을 특징으로 하는 비접촉식 측정 장치.

【청구항 7】

제 1 항에 있어서,

상기 샘플은 그 하단에 위치한 X-Y 스캐너에 의해 X축 및 Y축 방향으로 이동하는 것을 특징으로 하는 비접촉식 측정 장치.

【청구항 8】

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 구동수단은,

압전 액츄에이터(Piezo actuator), 바이모프 액츄에이터(Bimorph actuator) 또는 VCM(Voice Coil Motor) 중 어느 하나로 이루어진 것을 특징으로 하는 비접촉식 측정 장치.

【청구항 9】

X축 및 Y축 방향으로 이동하는 샘플과 일정 거리를 유지하면서 상기 샘플의 표면 형상을 센싱수단의 공진 주파수의 진폭 변화를 통해 센싱하는 단계;

상기 센싱된 신호를 주파수 형태의 제1신호로 변환하는 단계;

상기 제1신호와 주파수 발생수단으로부터 출력되는 제2신호를 합성하는 단계-상기 제2신호는 상기 공진 주파수와 동일하며 상기 제1신호에 비해 고주파임;

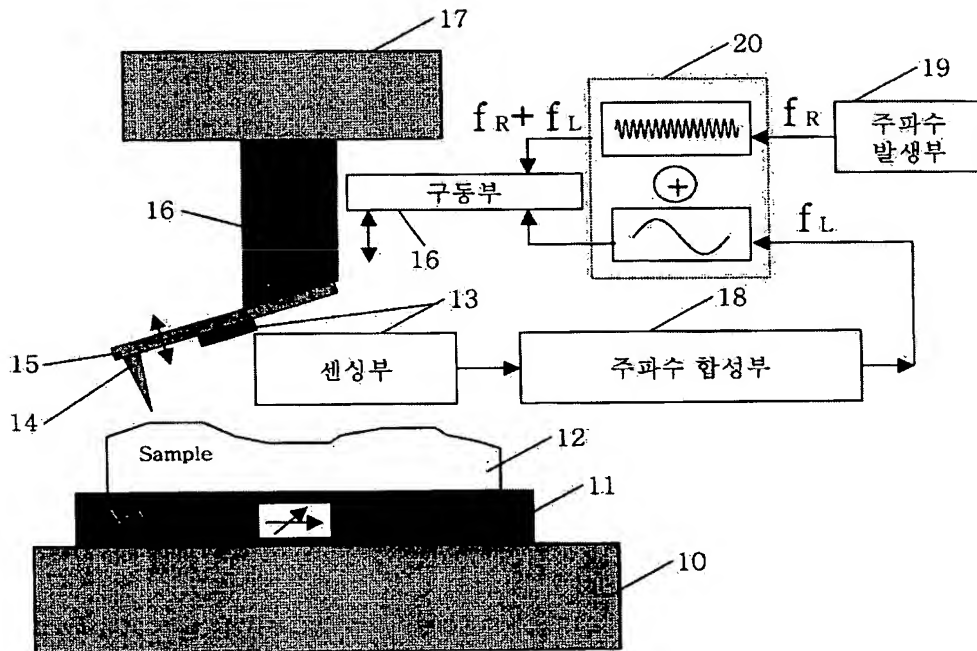
상기 합성된 신호를 구동수단으로 피드백시키는 단계; 및

전달된 상기 합성된 신호 중 상기 제2신호에 비해 상대적으로 저주파인 상기 제1신호에 응답하여 Z축 방향으로 상기 구동수단을 구동시키고, 상기 제1신호에 비해 상대적으로 고주파인 상기 제2신호에서만 선택적으로 상기 센싱수단을 동작시키는 주파수 응답 분리 동작을 실시하는 단계

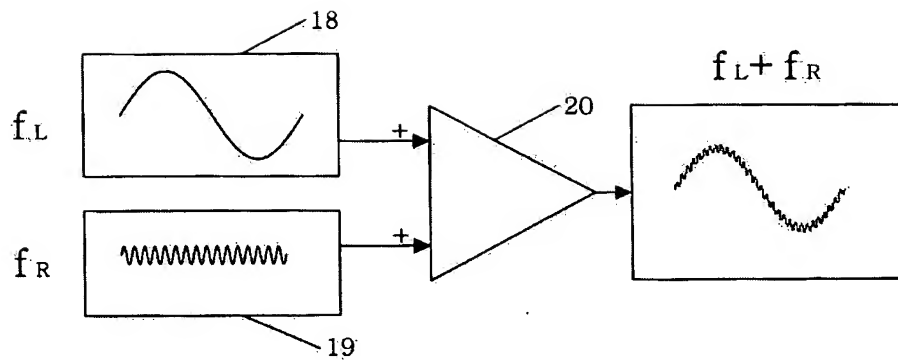
를 포함하는 주파수 응답 분리를 이용한 비접촉식 표면 측정 방법.

【도면】

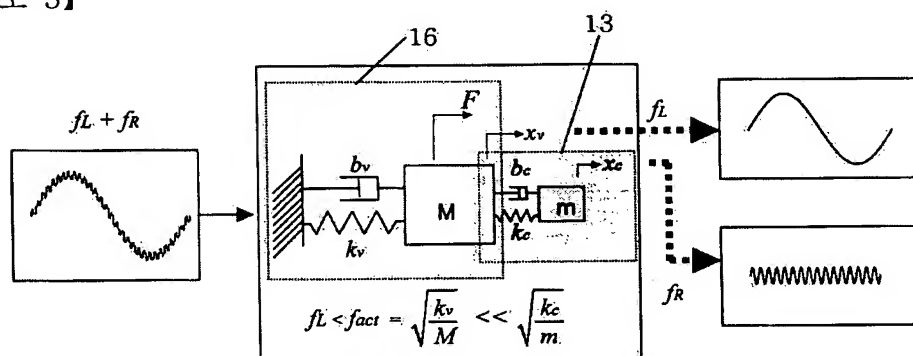
【도 1】



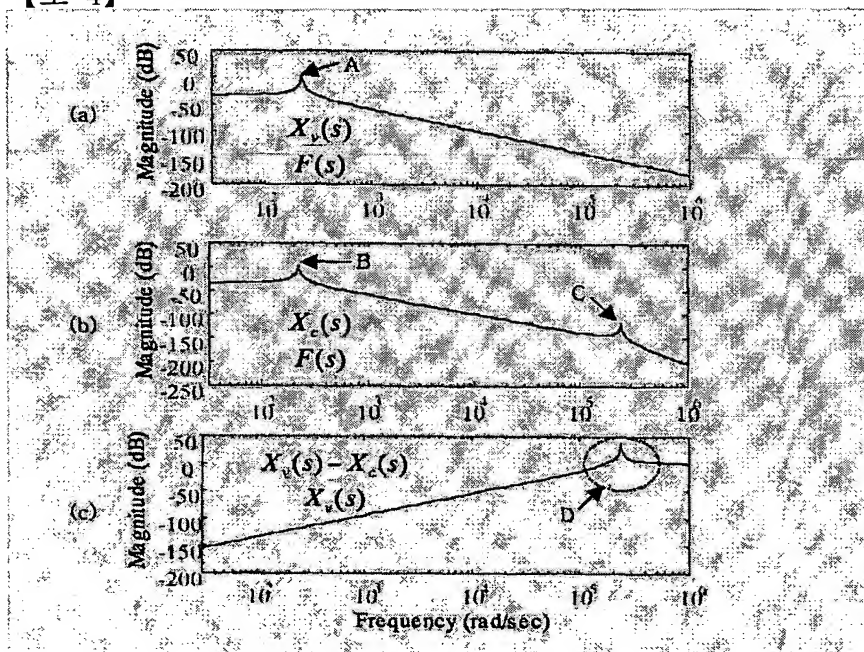
【도 2】



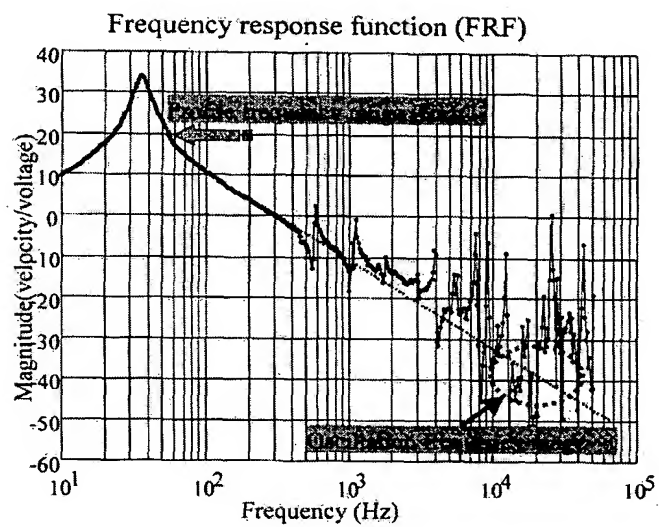
【도 3】



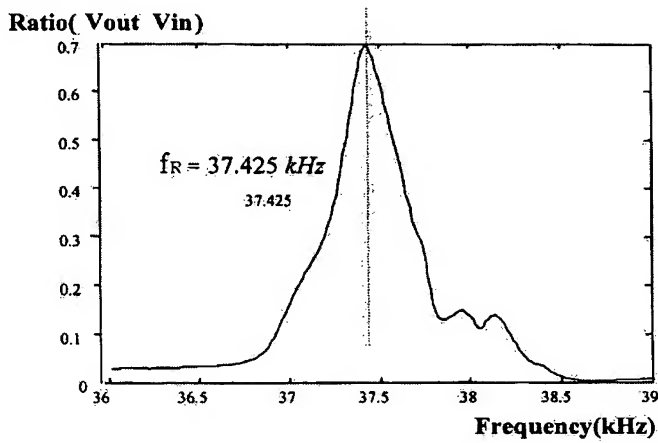
【도 4】



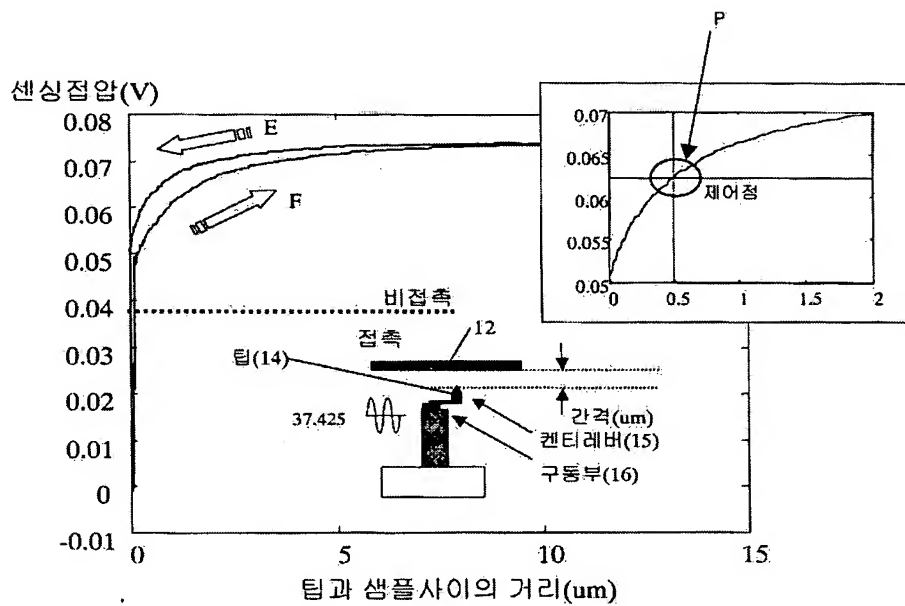
【도 5】



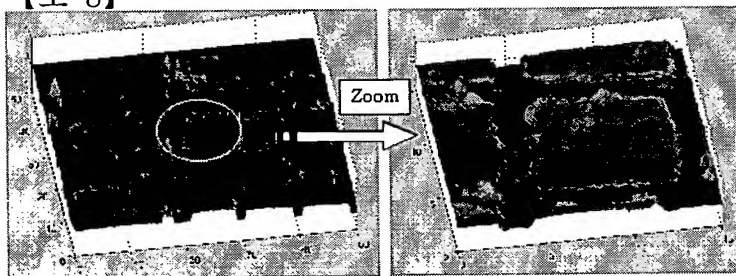
【도 6】



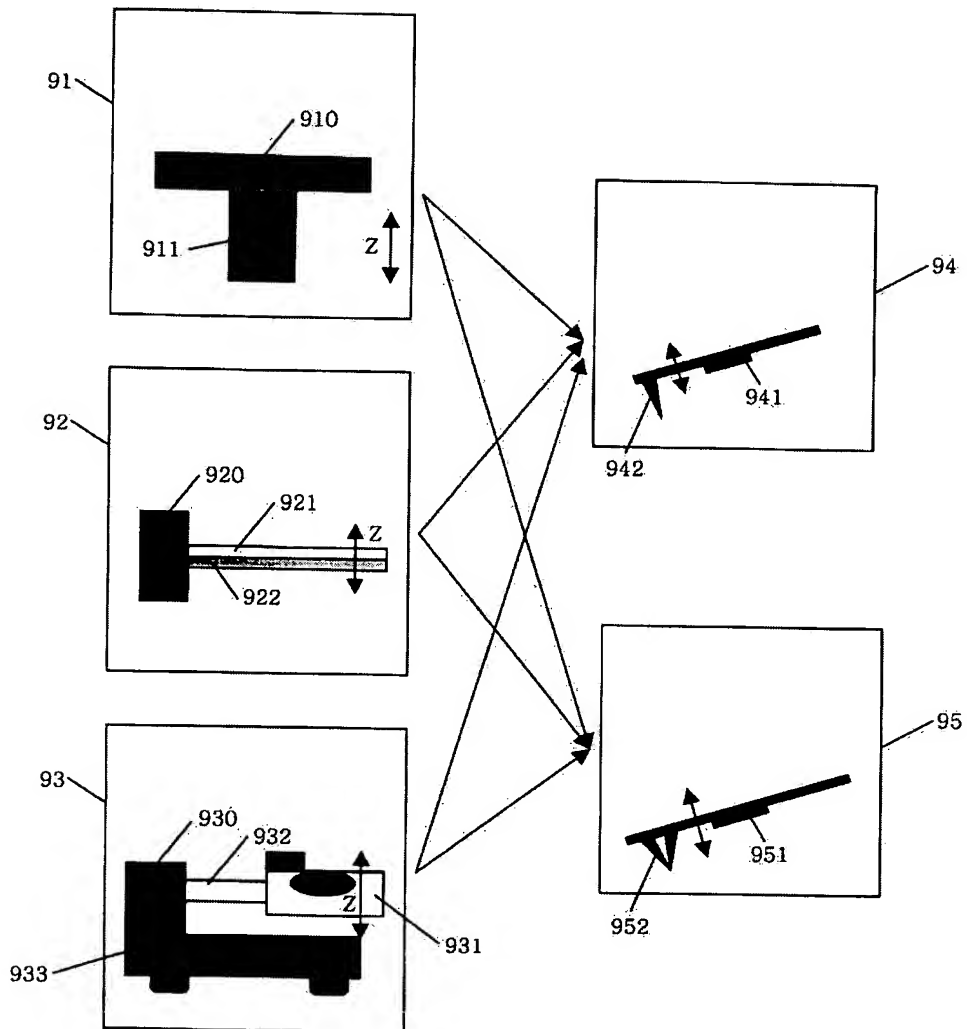
【도 7】



【도 8】



【도 9】



【도 10】

